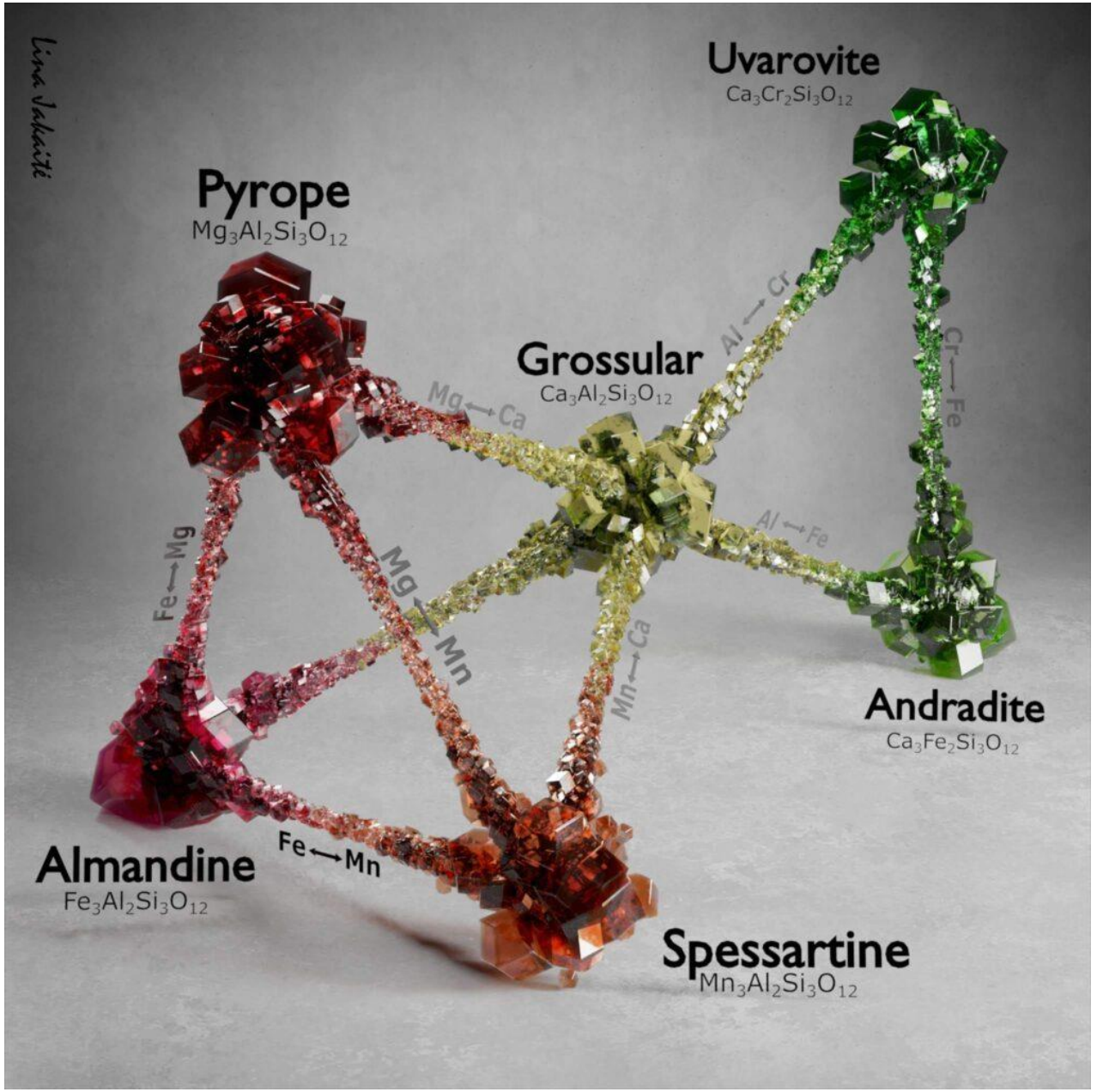
Tipos de Granadas e sua Importância em Petrologia Metamórfica.

- David Glotz

• Introdução:

- **Granada** é um grupo de minerais de silicato que compartilham uma estrutura cristalina comum, mas variam em composição química. A fórmula química geral da granada é **$X_3Y_2(SiO_4)_3$** , onde X e Y são vários cátions metálicos, como **Ca**, **Mg**, **Al**, **Fe, Mn, Cr etc.** Esta flexibilidade na composição química resulta em um amplo leque de variedades de granadas, cada uma com características físicas e químicas e ópticas distintas.
- Nos **cátions X** os espaços são ocupados pelos cátions divalentes de coordenação 8 (dodecaédrica): **Ca^{2+}, Mg^{2+},Fe^{2+}, Mn^{2+}.**
- Nos **cátions Y** os espaços são ocupados pelos cátions trivalentes de coordenação 6 (octaédrica): **Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}.**
- Os principais **tipos de granadas** podem ser classificadas em:
- **Almandina** → $Fe^{2+}_3Al_2(SiO_4)_3$
- **Pyrope** → $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$
- **Spessartina** → $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$
- **Grossulária** → $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
- **Andradita** → $Ca_3Fe^{3+}_2(SiO_4)_3$
- **Uvarovita** → $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$



- Figura 1: Tipos de Granada.

- **Estrutura cristalina:**

- As granadas cristalizam no **sistema cúbico** e possuem estrutura cristalina **isométrica**. Essa estrutura é caracterizada por um arranjo simétrico de átomos, resultando na formação de cristais **dodecaédricos/rombododecaédricos, trapezoédricos ou cúbicos apesar desse último ser menos comum**. A simetria cúbica e a falta de planos de clivagem contribuem para a durabilidade e dureza da granada.

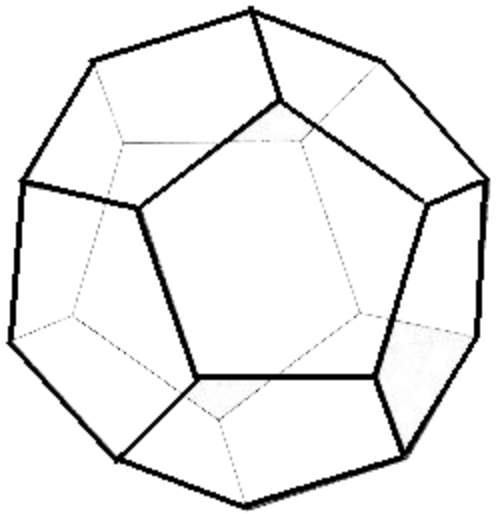


Figura 2: Dodecaedro

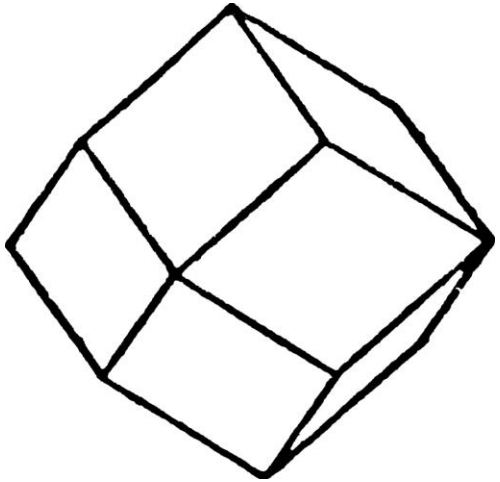


Figura 3: Dodecaedro rômbico

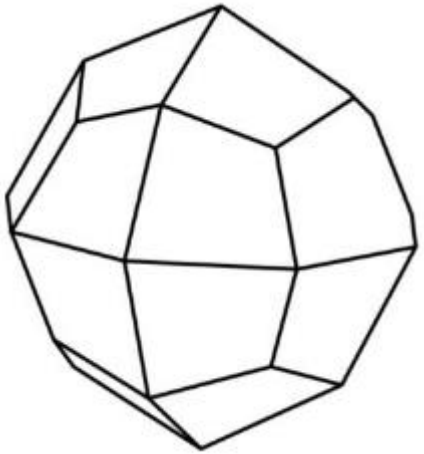


Figura 4: Trapezoedro

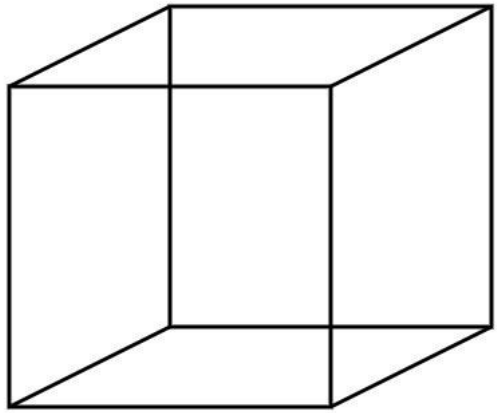
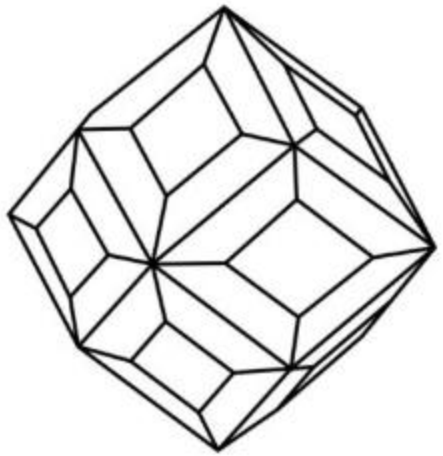
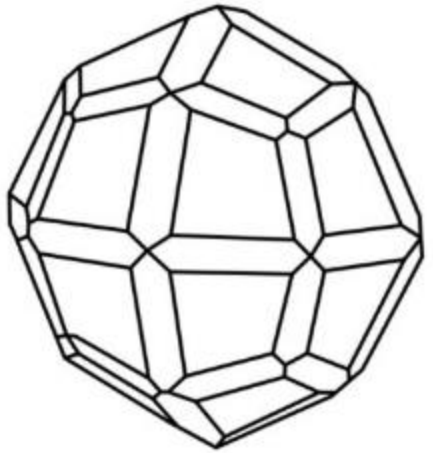


Figura 5: Hexaedro (Cubo)

As formas externas as quais as granadas podem se cristalizar, no entanto, não se limitam as suas formas isoladas. Essas formas podem se apresentar **em conjunto** em um mesmo mineral, gerando padrões complexos.





- **Propriedades físicas:**

- As granadas exibem uma variedade de propriedades físicas dependendo de sua composição química. Algumas das principais propriedades físicas incluem:

- **Dureza:** As granadas são minerais relativamente duros, com dureza Mohs variando de 6.5 a 7.5. Essa dureza os torna adequados para uso como abrasivos em aplicações industriais e garante durabilidade quando usados como pedras preciosas.

- **Gravidade específica:** A gravidade específica das granadas varia dependendo da sua composição, normalmente variando de 3.5 a 4.3. Por exemplo, as granadas de piropo tendem a ter uma gravidade específica mais baixa, enquanto as granadas de almandina e andradita têm valores mais elevados pelo Fe em sua composição.

- **Índice de refração:** As granadas têm um índice de refração que varia de 1.72 a 1.94. Esta propriedade, aliada à sua transparência e cor, confere brilho às granadas e as torna desejáveis como pedras preciosas.

- **Cor:** A cor das granadas varia bastante conforme a composição química (vermelho, laranja, verde, amarelo...) não só devido aos elementos dos cátions X e Y como também devido a elementos traço e outros fatores que também podem interferir nesse processo.

- **Brilho: Vítreo** (pode ser resinoso em determinadas variedades de granada).

- **Diafaneidade:** Transparente a opaca... Gemas comumente transparentes... Granadas metamórficas podem ser opacas em lâmina grossa

- **Clivagem: Inexistente.**

- **Fratura: Conchoidal a irregular.**

- **Traço: Branco.**

- **Outras propriedades físicas: Minerais refratários...** Alta **resistência química...** Estáveis em ampla faixa de **P–T...** Preservam inclusões, evidenciando importantes registros metamórficos.

Figura 6: Tipos de Granada.

- **Propriedades ópticas:**

- **Relevo: Moderado a alto.**
- **Pleocroísmo: Ausente.**
- **Extinção: Extinção total com o cruzamento dos nicóis.**
- **Comumente fraturada e com presença de inclusões.**
- **Birrefrigencia:** $\delta = 0$.
- **Cor: Pode apresentar variação dependendo do tipo de granada.**

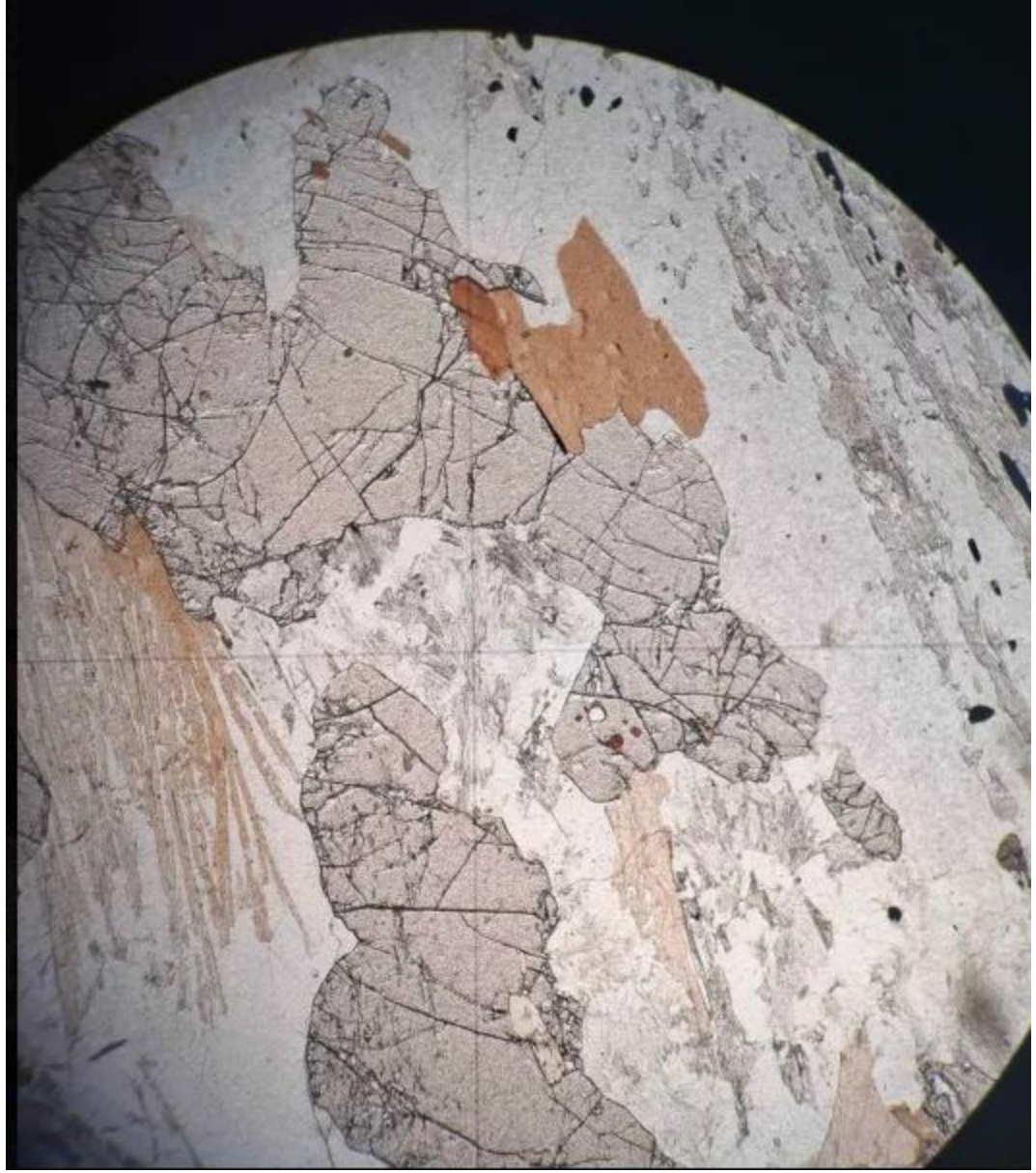
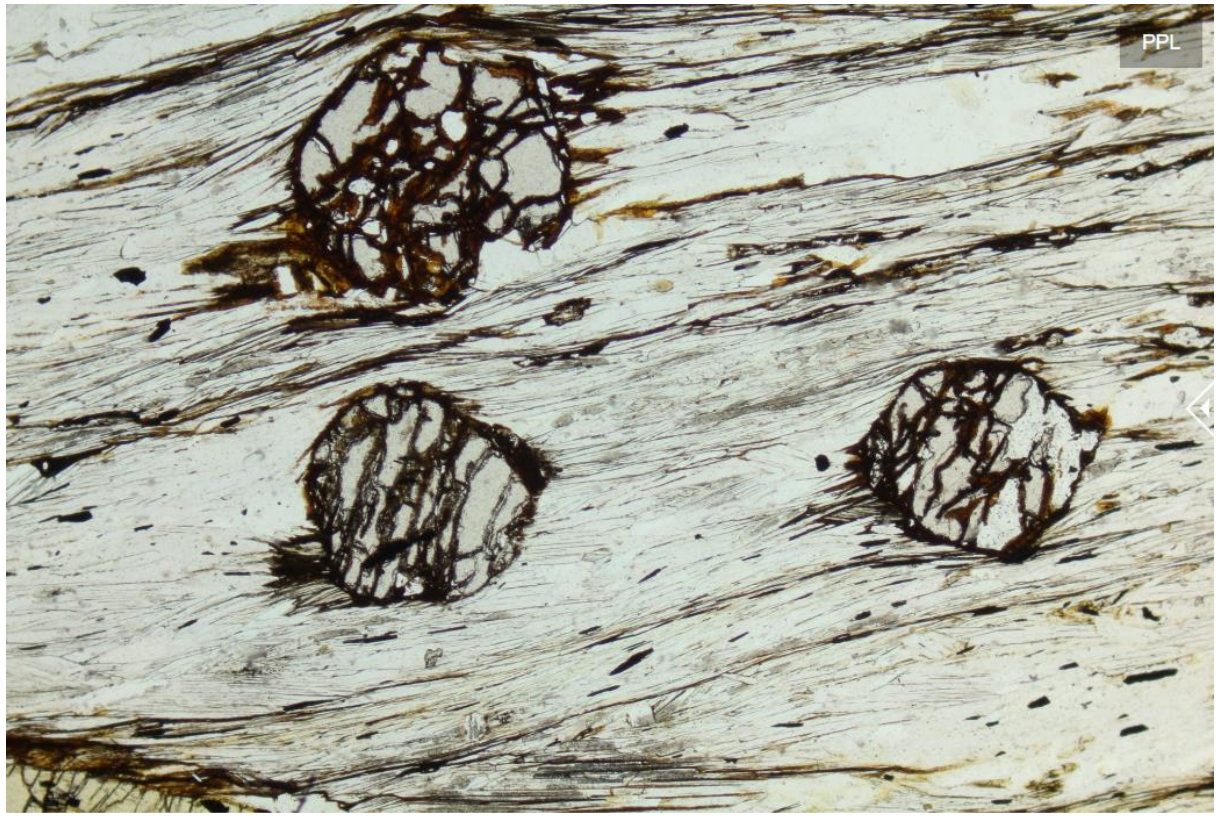
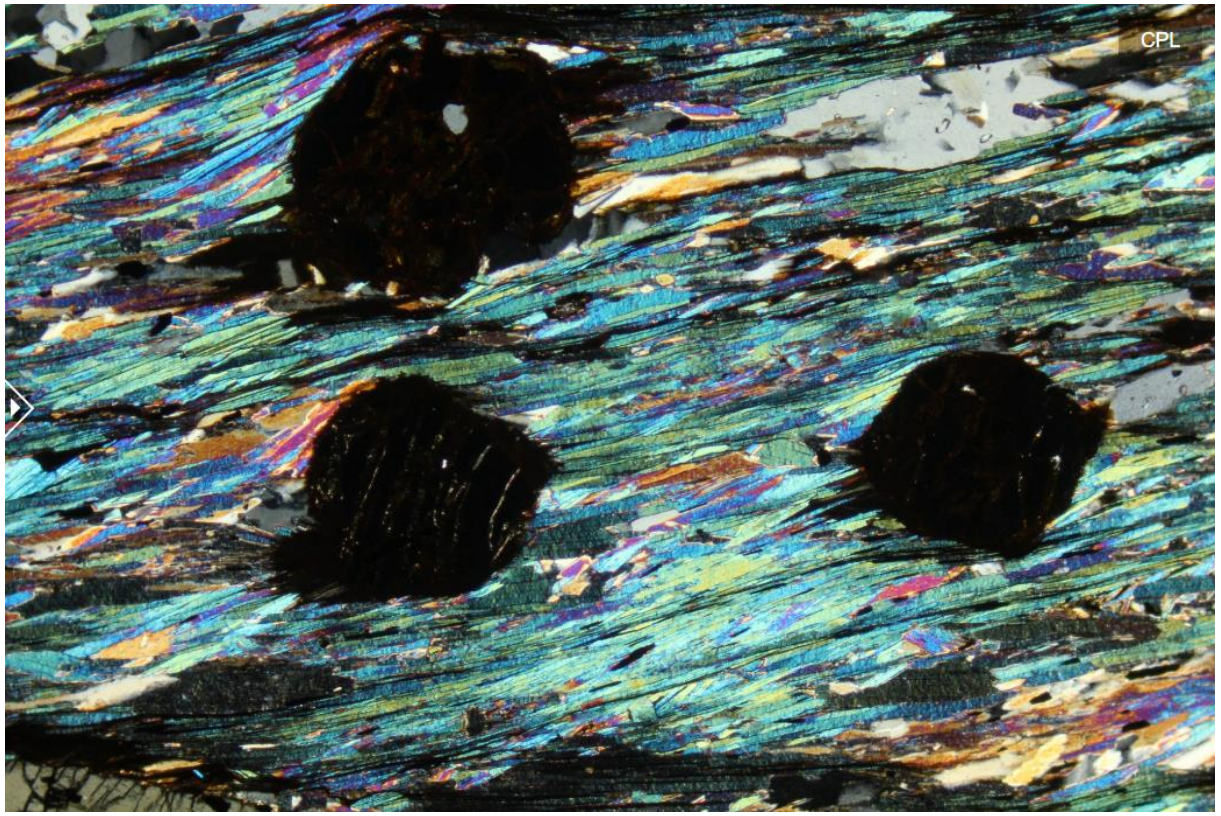


Figura 7: Granada a nicóis descruzados.





Figuras 8 e 9: Grãos de granada com sombras de pressão assimétricas circundados por mica branca (cores de interferência altas) em um paragnaisse milonítico. A esquerda nicóis descruzados... A direita nicóis cruzados.

- **Misturas e séries contínuas nas granadas:**
- As granadas raramente ocorrem como “extremos puros”.
  O que vemos na natureza são **soluções sólidas extensas**, controladas por **substituições iônicas**.

- Séries contínuas mais importantes
- **Almandina ↔ Pyrope (Fe^{2+} ↔ Mg^{2+})**
  - Muito comum em rochas pelíticas
  - Sensível à **T**
- **Grossulária ↔ Andradita (Al^{3+} ↔ Fe^{3+})**
  - Comum em rochas cálcio-silicáticas e skarns
  - Influenciada por **condições redox**

  - **Importância metamórfica:**

A composição da granada:

- Registra **condições P–T**
- Varia do núcleo para a borda (**zoneamento químico**)
- Sem dúvidas serve de base para **geotermometria** e **geoquímica metamórfica.**

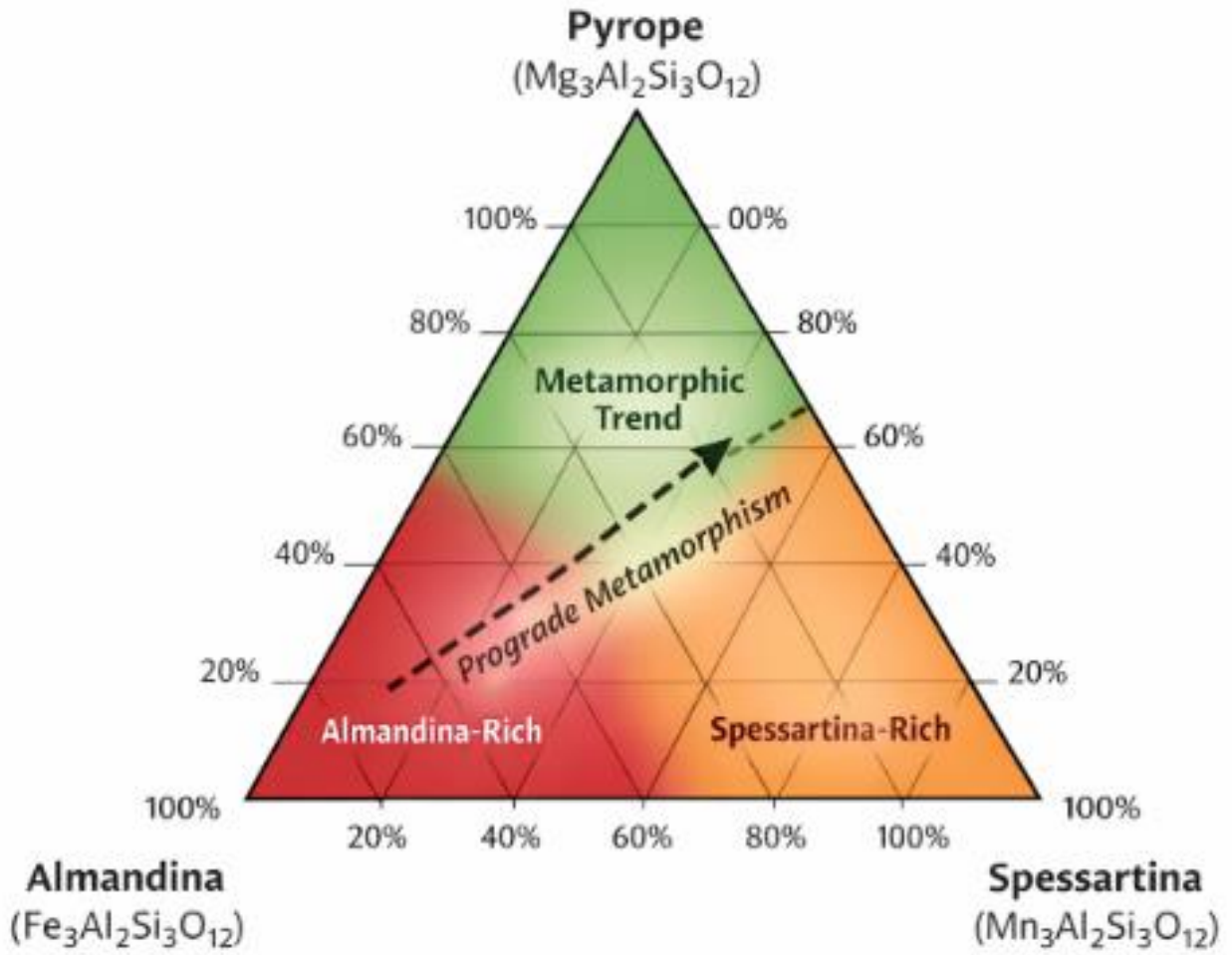


Figura 10: Diagrama ternário Almandina–Pyrope–Spessartina: permitem visualizar soluções sólidas nas granadas e interpretar tendências composicionais associadas ao metamorfismo progressivo.

- Perceba que com o **metamorfismo progressivo**, as granadas tendem a evoluir composicionalmente de **spessartina** → **almandina** → **pyrope**.. observação: Mg^{2+} é **mais estável termodinamicamente** em altas temperaturas (alto grau metamórfico) favorecendo a formação do **pyrope**.

- **Fácies metamórficas e tipos de granadas:**

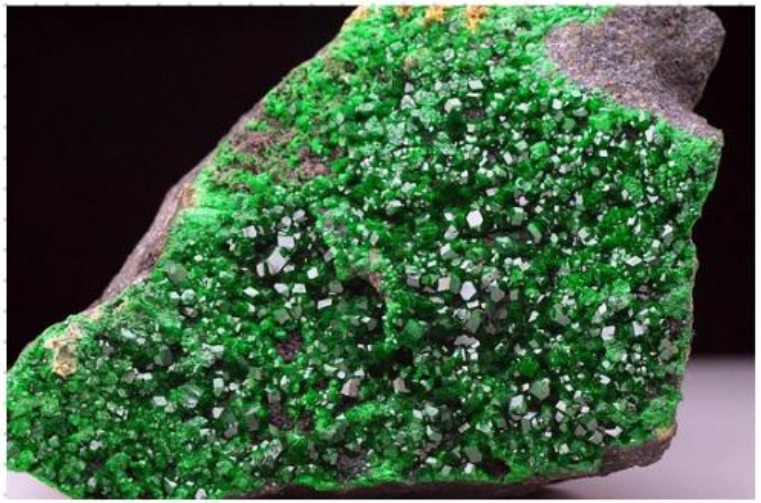
Fácies:	Tipos de granada comuns:
Xisto Verde	Grossulária ± Almandina
Anfibolito	Almandina–Pyrope
Granulito	Pyrope rica em Mg

- **Texturas e inclusões em granadas:**

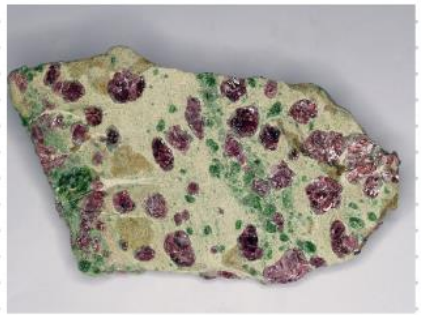
Xistos → porfiroblastos de granada
Gnaisses → granadas recristalizadas
Migmatitos → granadas associadas à anatexia (fusão parcial)

- **Outras variedades de granada:**

• Uvarovita:



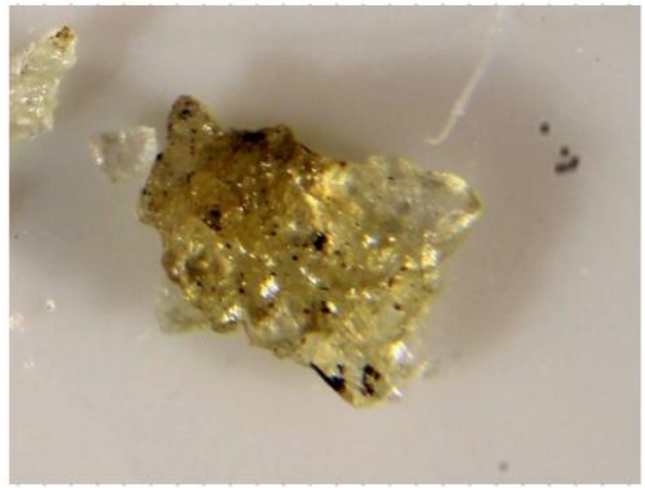
- Ocorrência: Rochas Ultramáficas, Cromitas, serpentinitos...
- Raridade: Muito Rara.
- Composição: $Ca_3Cr_2Si_3O_{12}$
- Cor: Verde intenso devido à Presença do Cr^{3+}



- Knorringita:

- Ocorrência: Mineral mantílico de ↑P... indução em diamantes...
- Raridade: Extremamente rara.
- Composição: $Mg_3Cr_2Si_3O_{12}$
- Cor: Verde escuro.

- **Majorita:**



- Composição: $Mg_3(MgSi)(SiO_4)_3$
- Cor: Amarelo ou marrom.

- Ocorrência: Condições mantélicas. Alta Pressão... meteoritos.

- Raridade: Rara.

• Hessonita:

• Ocorrência: Skarns... pegmatitos metamórficos...

• Raridade: Moderada.

• Composição: $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$

• Cor: Marrom-avermelhado | Marrom-alaranjado. ("canela")

• Rhodolita:

• Composição: Mistura almandina-pyrope.

• Cor: Vermelho rosa.

• Ocorrência: Rochas pelíticas metamórficas... depósitos sedimentares...

• Raridade: Incomum.

• Melanita:

• Composição: Andradita com Ti.

• Cor: Preta.

• Ocorrência: Skarns... Metabasitos com Ti.

• Raridade: Rara.

- **Goldmanita:**

- Composição: Granadária com V^{3+}.
- Cor: Verde-oliva.

- Ocorrência: Rochas Metamórficas específicas ricas em Vanádio.

- Raridade: Muito Rara.

- Topazolite:

* Variedade da Andradita.

- Composição: $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$.
- Cor: Amarelo/Amarelo esverdeado.

- Ocorrência: Skarns... Rochas metamórficas de alto grau...
- Fonidade: Rara.

• Tsavorita:

* Apresenta traços de Vanádio (V) e pode apresentar traços de Cromo (Cr)

- Composição: $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
- Cor: Verde intenso.

- Ocorrência: Skarns metamórficos, Metamorfismo de contato em rochas calcárias.

- Raridade: Muito Rara. (Encontrada apenas em depósitos específicos da África Oriental como Quênia... Tanzânia...).

• Hidrogrossulária:

* onde: $0 < x < 0,5$

• Composição: $Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(OH)_{4x}$.

• Cor: Verde claro/Branco/Acizentado... Rosado...

• Ocorrência: Alteração de grossulária em rochas calcárias hidratadas... depósitos metamórficos e metassomáticos.

• Raridade: Rara.

• Delmantoid:

* Substituição de Cr responsável pela cor.

• Composição: $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$

• Cor: Verde escuro a oliva.

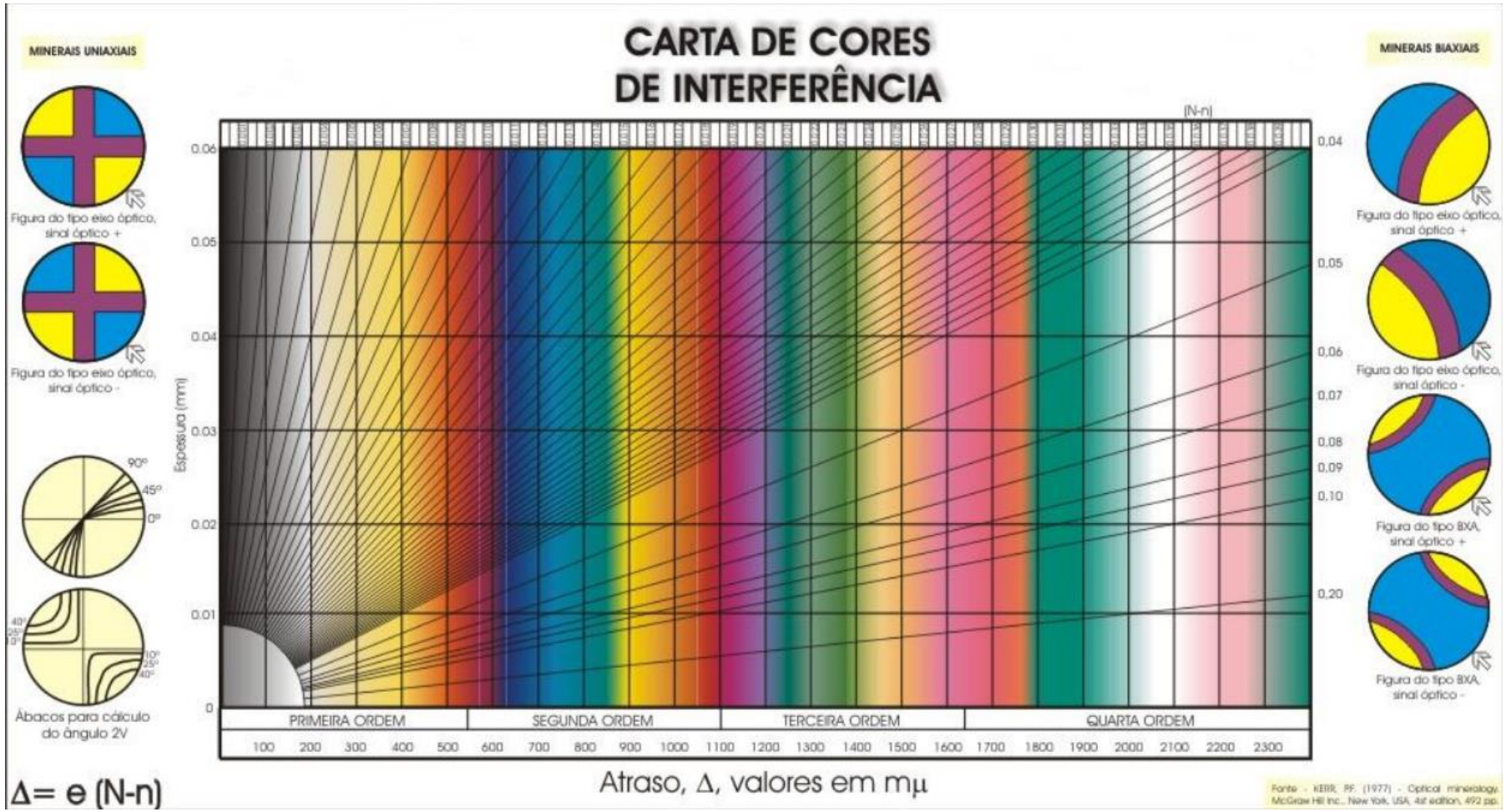
• Ocorrência: Skarns... rochas metamórficas de contato com Cr^{3+}.

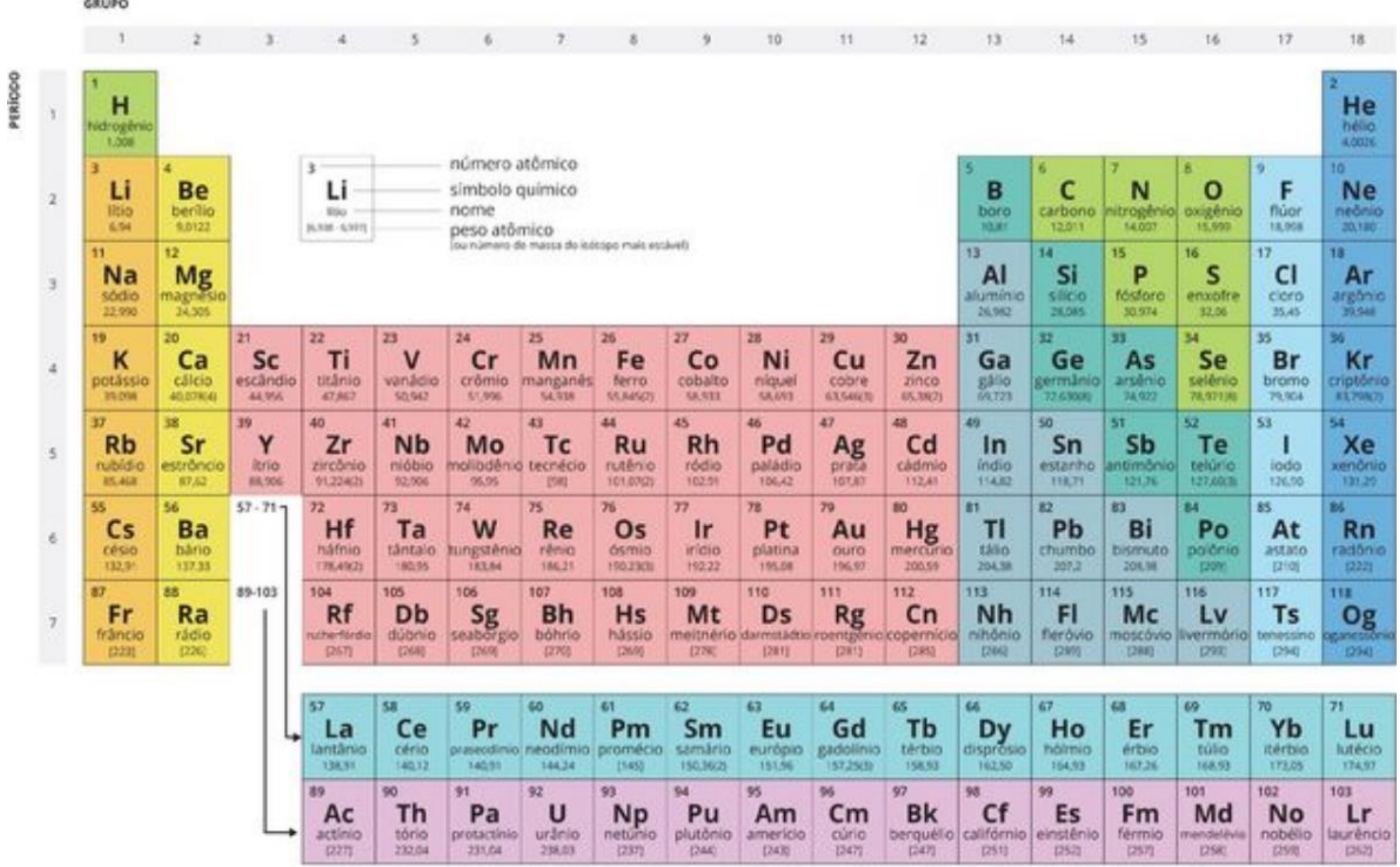
• Raridade: Extremamente rara.

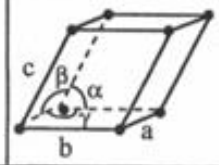
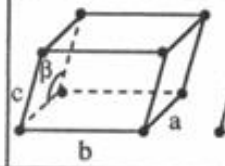
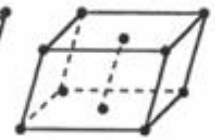
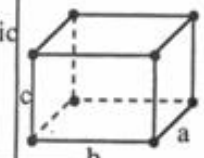
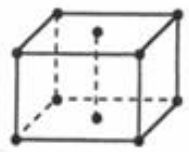
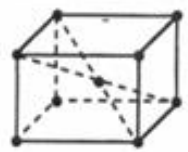
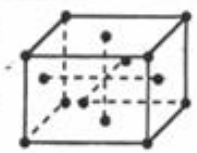
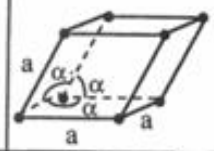
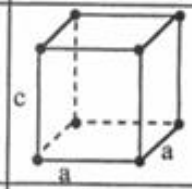
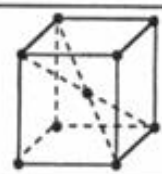
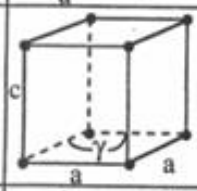
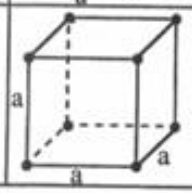
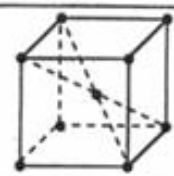
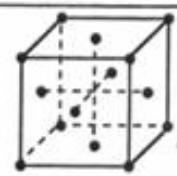
Figura 10: Variedades de Granada.

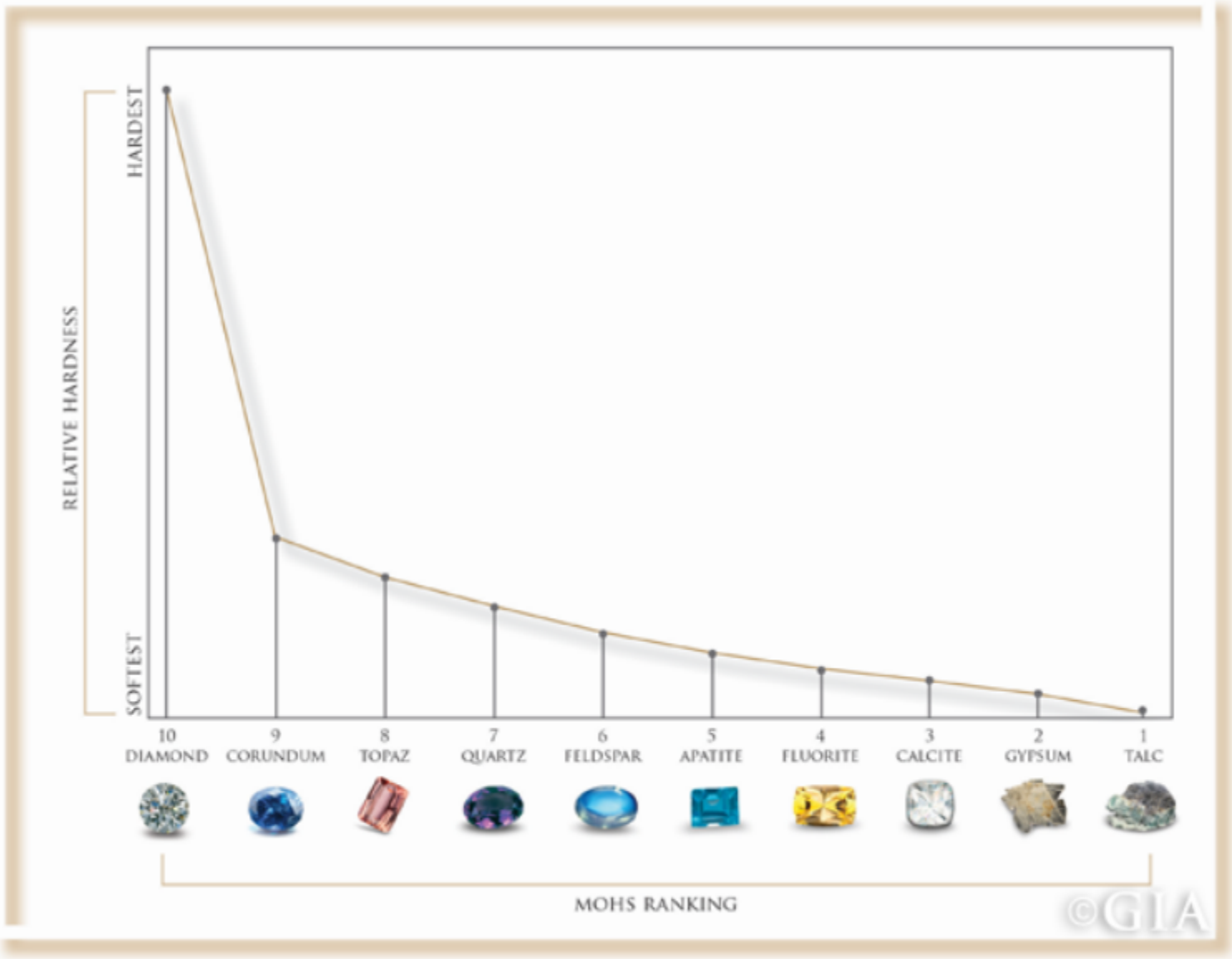
Figura 11: Variedades de Andradita.

- **Material de consulta:**




GRUPO
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
PERÍODO
1 2 3 4 5 6 7
1 H hidrogênio 1,008
2 He hélio 4,0026
3 Li lítio 6,94
4 Be berílio 9,0122
5 B boro 10,81
6 C carbono 12,011
7 N nitrogênio 14,007
8 O oxigênio 15,999
9 F flúor 18,998
10 Ne neônio 20,180
11 Na sódio 22,990
12 Mg magnésio 24,305
13 Al alumínio 26,982
14 Si silício 28,085
15 P fósforo 30,974
16 S enxofre 32,06
17 Cl cloro 35,45
18 Ar argônio 39,948
19 K potássio 39,098
20 Ca cálcio 40,078(4)
21 Sc escândio 44,956
22 Ti titânio 47,867
23 V vanádio 50,942
24 Cr crômio 51,996
25 Mn manganês 54,938
26 Fe ferro 55,845(2)
27 Co cobalto 58,933
28 Ni níquel 58,693
29 Cu cobre 63,546(3)
30 Zn zinco 65,38(2)
31 Ga gálio 69,723
32 Ge germânio 72,630(8)
33 As arsênio 74,922
34 Se selênio 78,971(8)
35 Br bromo 79,904
36 Kr criptônio 83,798(2)
37 Rb rubídio 85,468
38 Sr estrôncio 87,62
39 Y ítrio 88,906
40 Zr zircônio 91,224(2)
41 Nb nióbio 92,906
42 Mo molibdênio 95,95
43 Tc tecnécio [98]
44 Ru rutênio 101,07(2)
45 Rh ródio 102,91
46 Pd paládio 106,42
47 Ag prata 107,87
48 Cd cádmio 112,41
49 In índio 114,82
50 Sn estanho 118,71
51 Sb antimônio 121,76
52 Te telúrio 127,60(3)
53 I iodo 126,90
54 Xe xenônio 131,29
55 Cs césio 132,91
56 Ba bário 137,33
57 - 71
72 Hf háfnio 178,49(2)
73 Ta tântalo 180,95
74 W tungstênio 183,84
75 Re rênio 186,21
76 Os ósmio 190,23(3)
77 Ir irídio 192,22
78 Pt platina 195,08
79 Au ouro 196,97
80 Hg mercúrio 200,59
81 Tl tálio 204,38
82 Pb chumbo 207,2
83 Bi bismuto 208,98
84 Po polônio [209]
85 At astato [210]
86 Rn radônio [222]
87 Fr frâncio [223]
88 Ra rádio [226]
89-103
104 Rf rutherfórdio [267]
105 Db dúbnio [268]
106 Sg seabórgio [269]
107 Bh bóhrio [270]
108 Hs hássio [269]
109 Mt meitnério [278]
110 Ds darmstádtio [281]
111 Rg roentgênio [281]
112 Cn copernício [285]
113 Nh nihônio [286]
114 Fl fleróvio [289]
115 Mc moscóvio [288]
116 Lv livermório [293]
117 Ts tenessino [294]
118 Og oganessônio [294]
57 La lantânio 138,91
58 Ce cério 140,12
59 Pr praseodímio 140,91
60 Nd neodímio 144,24
61 Pm promécio [145]
62 Sm samário 150,36(2)
63 Eu európio 151,96
64 Gd gadolínio 157,25(3)
65 Tb térbio 158,93
66 Dy disprósio 162,50
67 Ho hólmio 164,93
68 Er érbio 167,26
69 Tm túlio 168,93
70 Yb itérbio 173,05
71 Lu lutécio 174,97
89 Ac actínio [227]
90 Th tório 232,04
91 Pa protactínio 231,04
92 U urânio 238,03
93 Np netúnio [237]
94 Pu plutônio [244]
95 Am amerício [243]
96 Cm cúrio [247]
97 Bk berquélio [247]
98 Cf califórnio [251]
99 Es einstênio [252]
100 Fm férmio [257]
101 Md mendelévio [258]
102 No nobélio [259]
103 Lr laurêncio [262]
3 Li lítio [6,938 - 6,997]
número atômico
símbolo químico
nome
peso atômico
(ou número de massa do isótopo mais estável)
Não metais
Gases nobres
Metais alcalinos
Metais alcalino-terrosos
Semimetais
Halogênios
Outros metais
Metais de transição
Lantanídeos
Actinídios

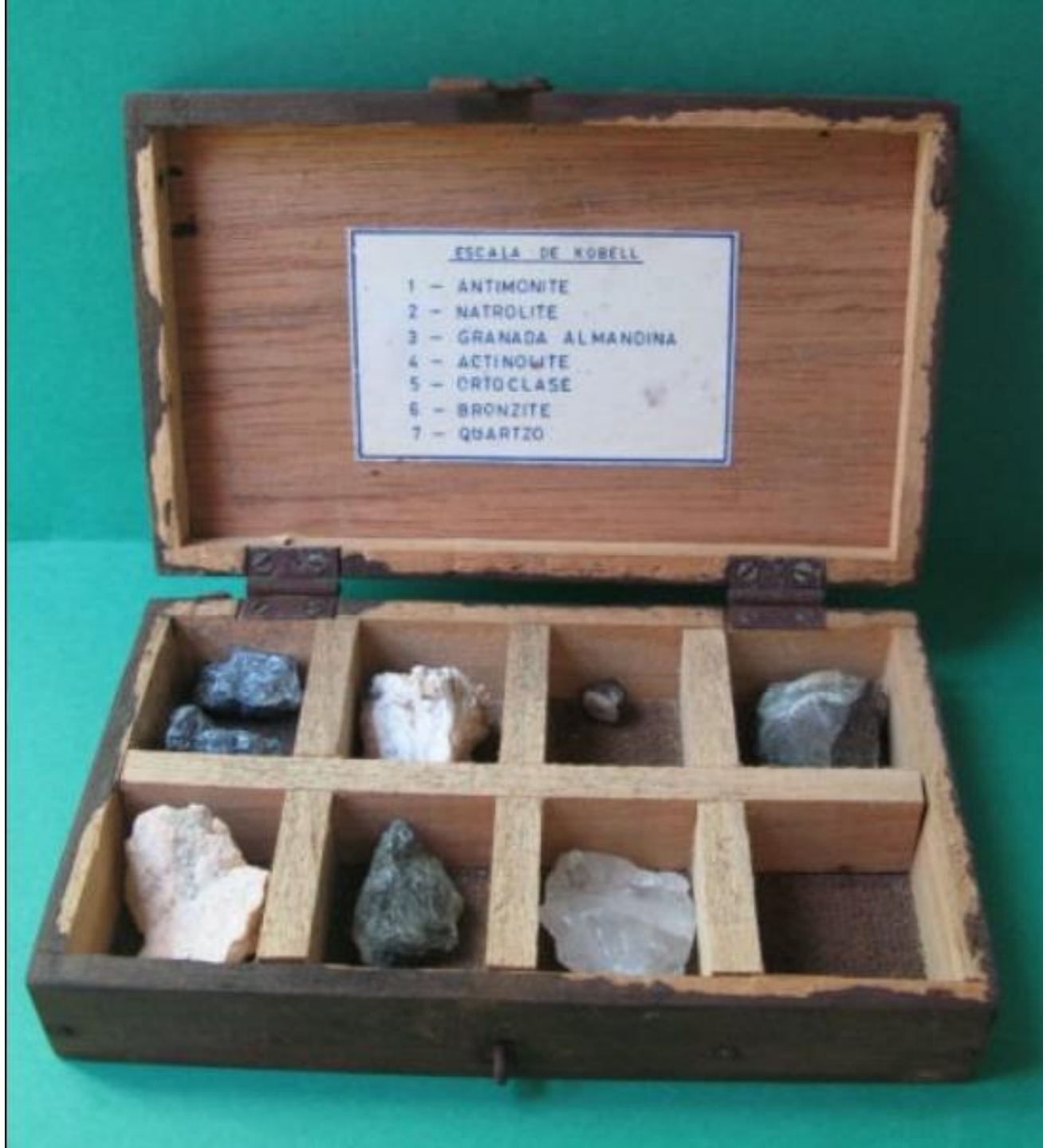
Crystal system	Bravais lattices			
	primitive	base-centered	body-centered	face-centered
Triclinic $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$				
Monoclinic $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = \frac{\pi}{2} \neq \beta$				
Orthorhombic $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = \frac{\pi}{2}$				
Trigonal $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq \frac{\pi}{2}$				
Tetragonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = \frac{\pi}{2}$				
Hexagonal $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \frac{\pi}{2}$ $\gamma = \frac{2\pi}{3}$				
Cubic $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = \frac{\pi}{2}$				

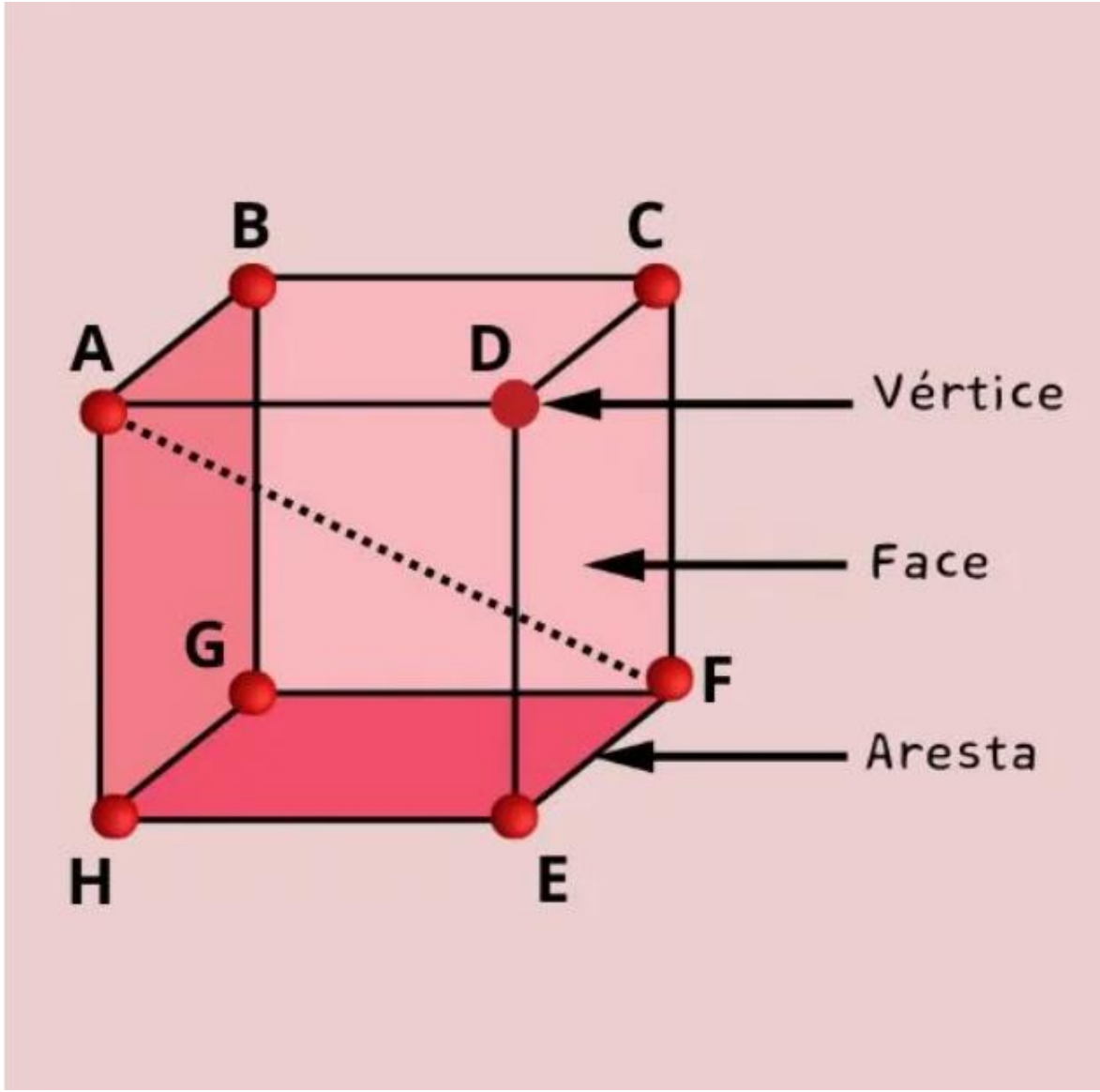


GEM SELECT

モース硬度計

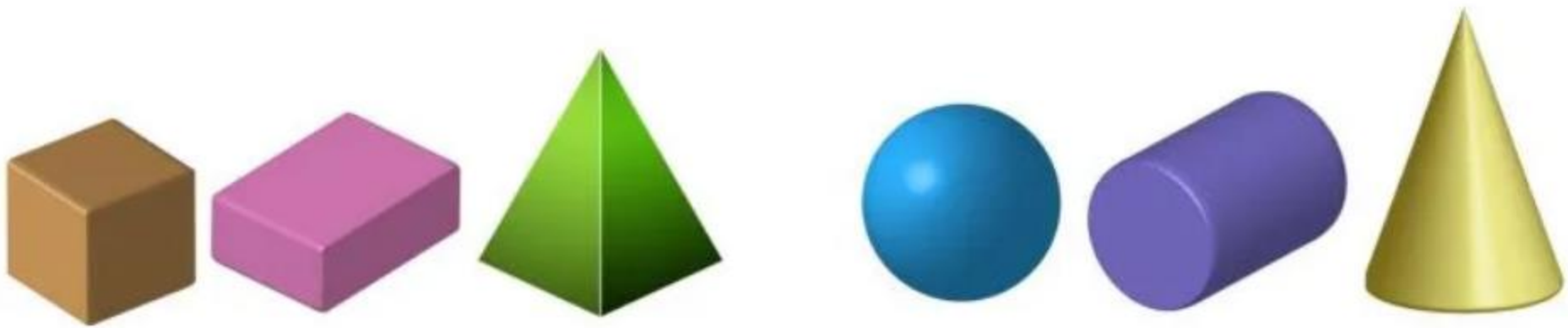
	名前	硬度	共通のオブジェクト
	ダイヤモンド	10	
	コランダム	9	← 石工用ドリルビット / 8.5
	トパーズ	8	
	クォーツ	7	← 鉄の釘 / 6.5
	正長石	6	← ナイフ / 5.5
	アパタイト	5	
	蛍石	4	← ペニー（銅）/ 3.5
	方解石	3	
	石膏	2	← 爪 / 2.5
	タルク	1	


ESCALA DE KOBELL
1 – ANTIMONITE
2 – NATROLITE
3 – GRANADA ALMANDINA
4 – ACTINOLITE
5 – ORTOCLASE
6 – BRONZITE
7 – QUARTZO

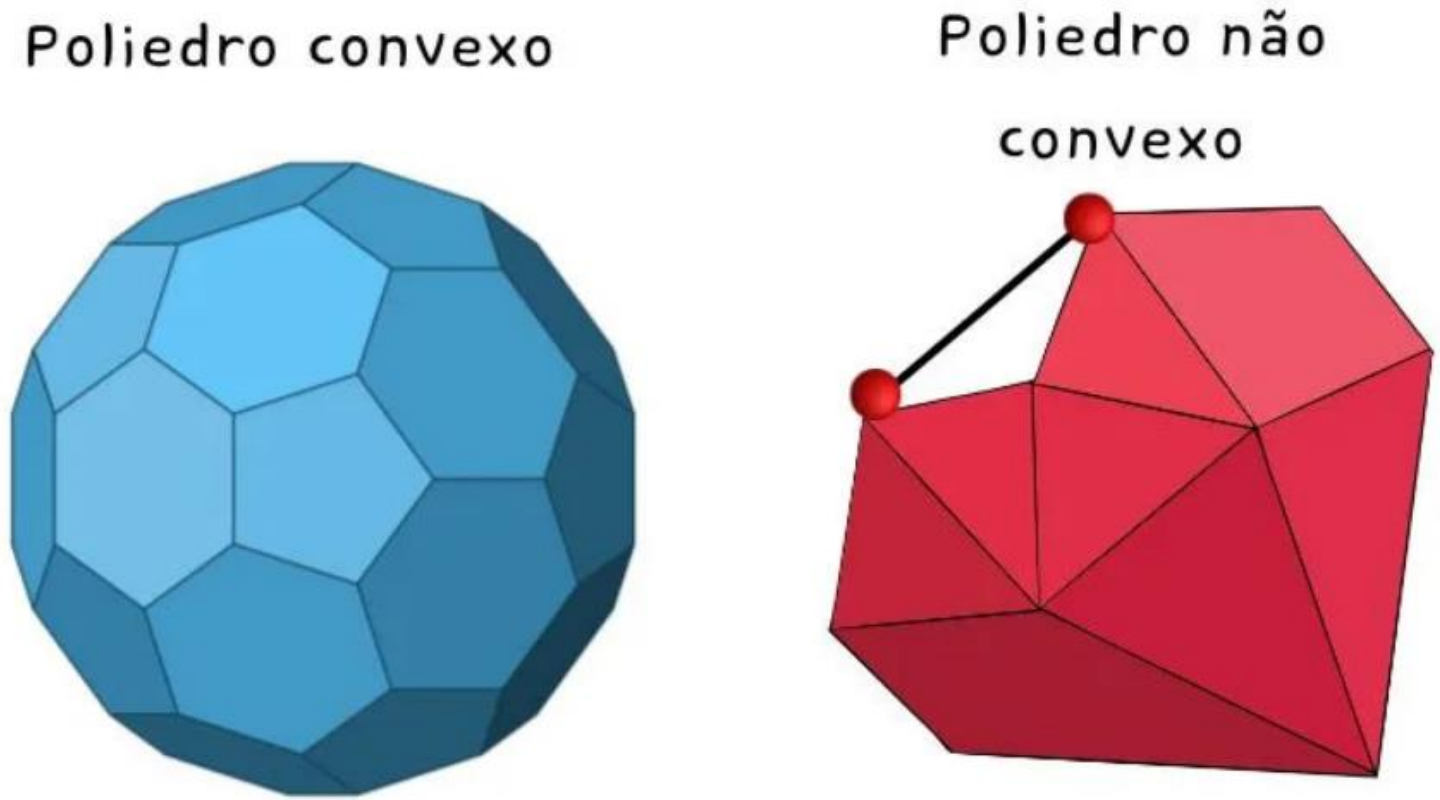

B
C
A
D
Vértice
Face
G
F
Aresta
H
E

Poliedros

Não Poliedros

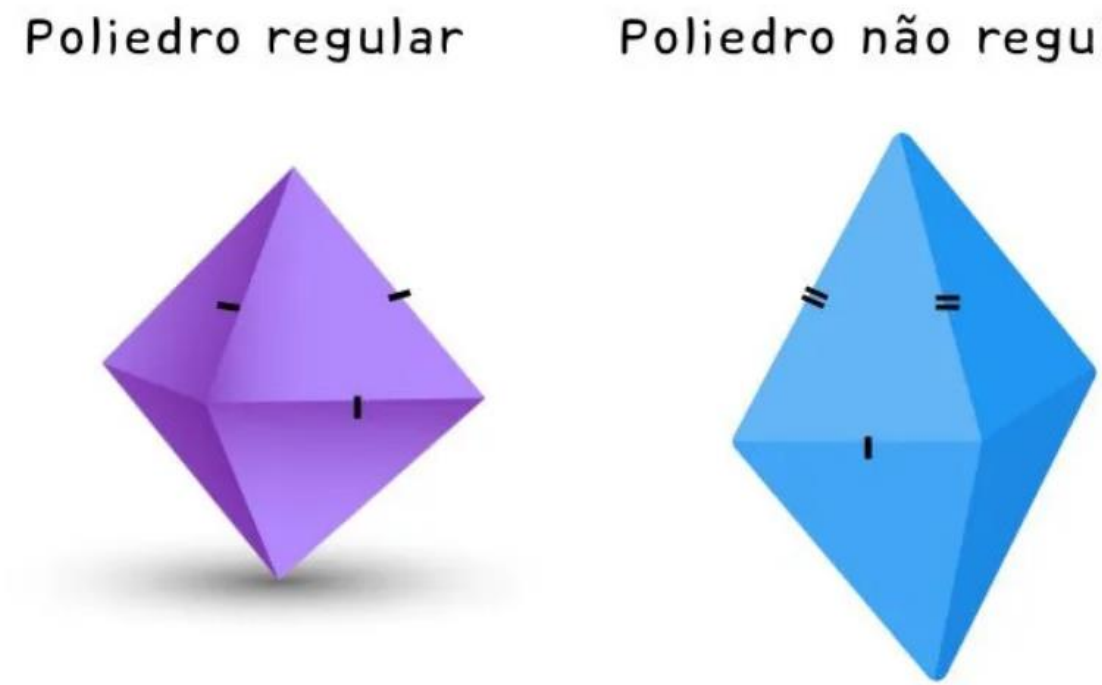


Exemplos de sólidos geométricos caracterizados ou não como poliedros.



Exemplos de poliedros convexo e não convexo.

Assim, **para um poliedro não ser regular, basta que uma de suas arestas tenha uma medida diferente das outras**.



Exemplos de poliedro regular e poliedro não regular.

- Relação de Euler:

$$V - A + F = 2$$

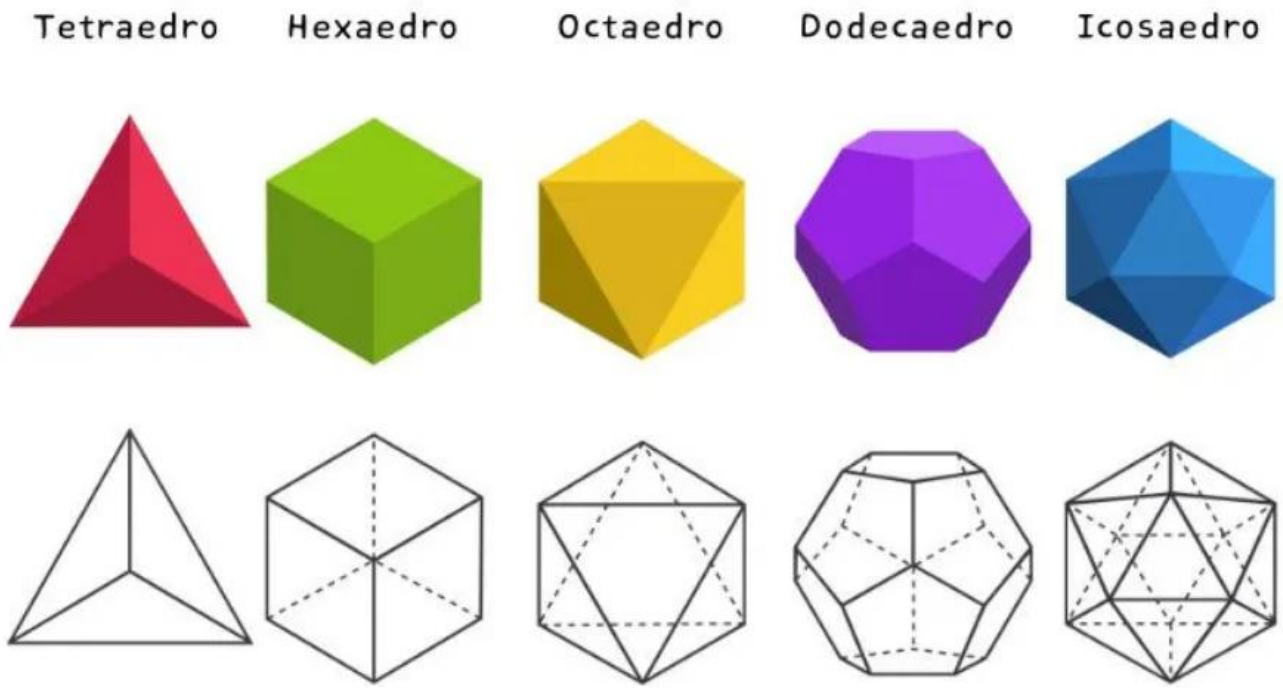
Onde:

V = nº de vértices.

A = nº de arestas.

F = nº de faces.

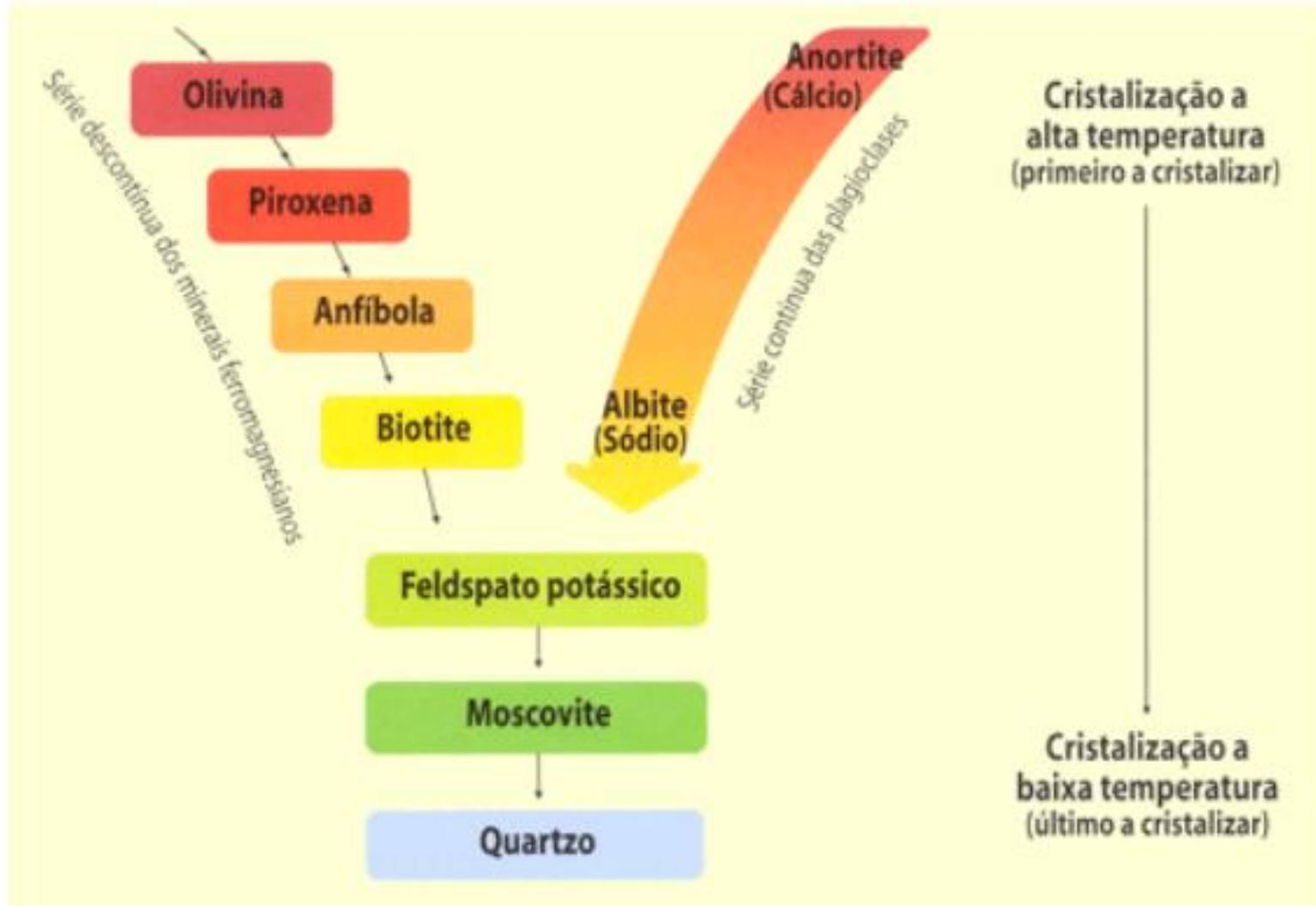
Poliedros de Platão

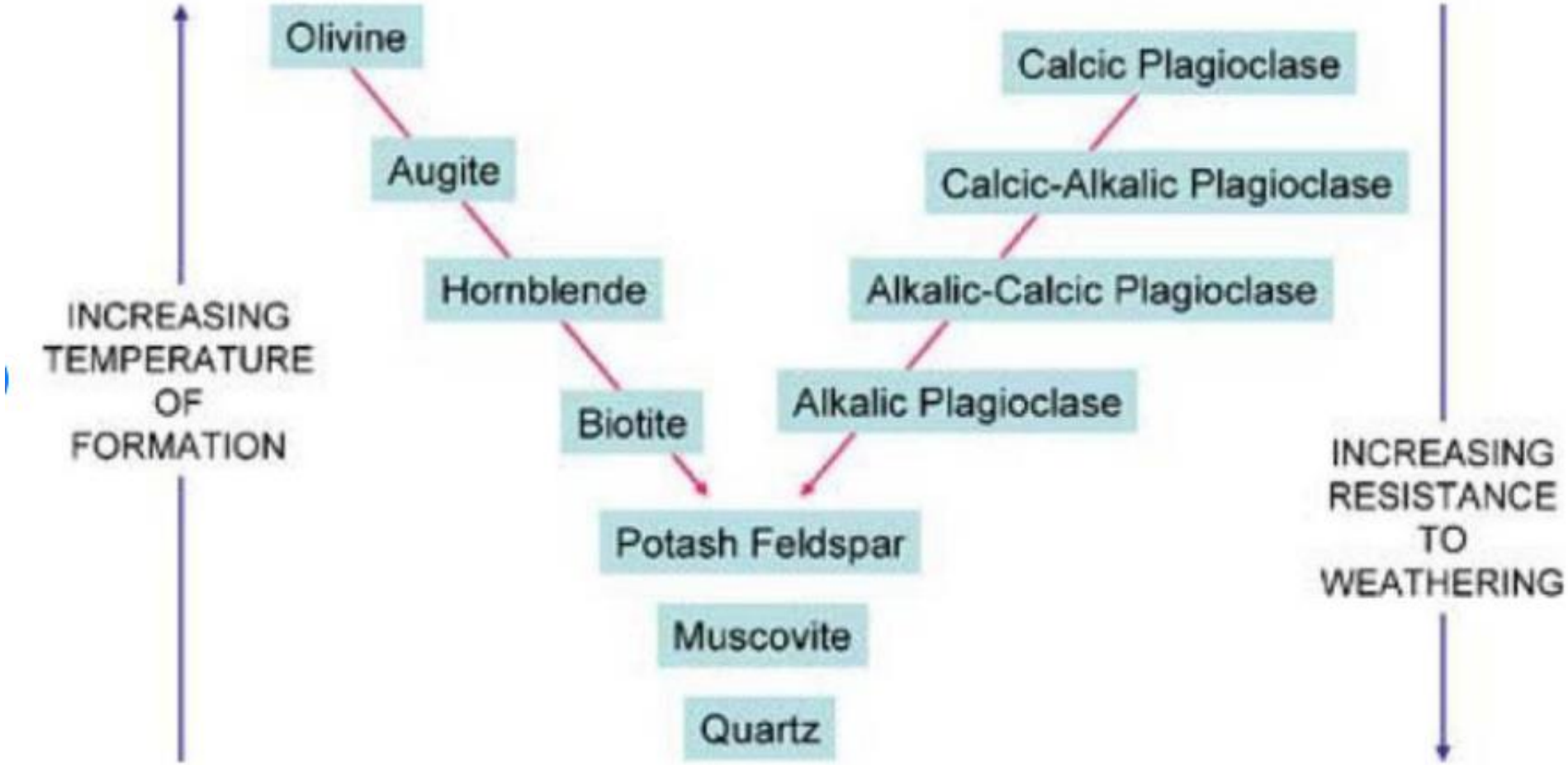


Os cinco poliedros regulares existentes são também poliedros de Platão.

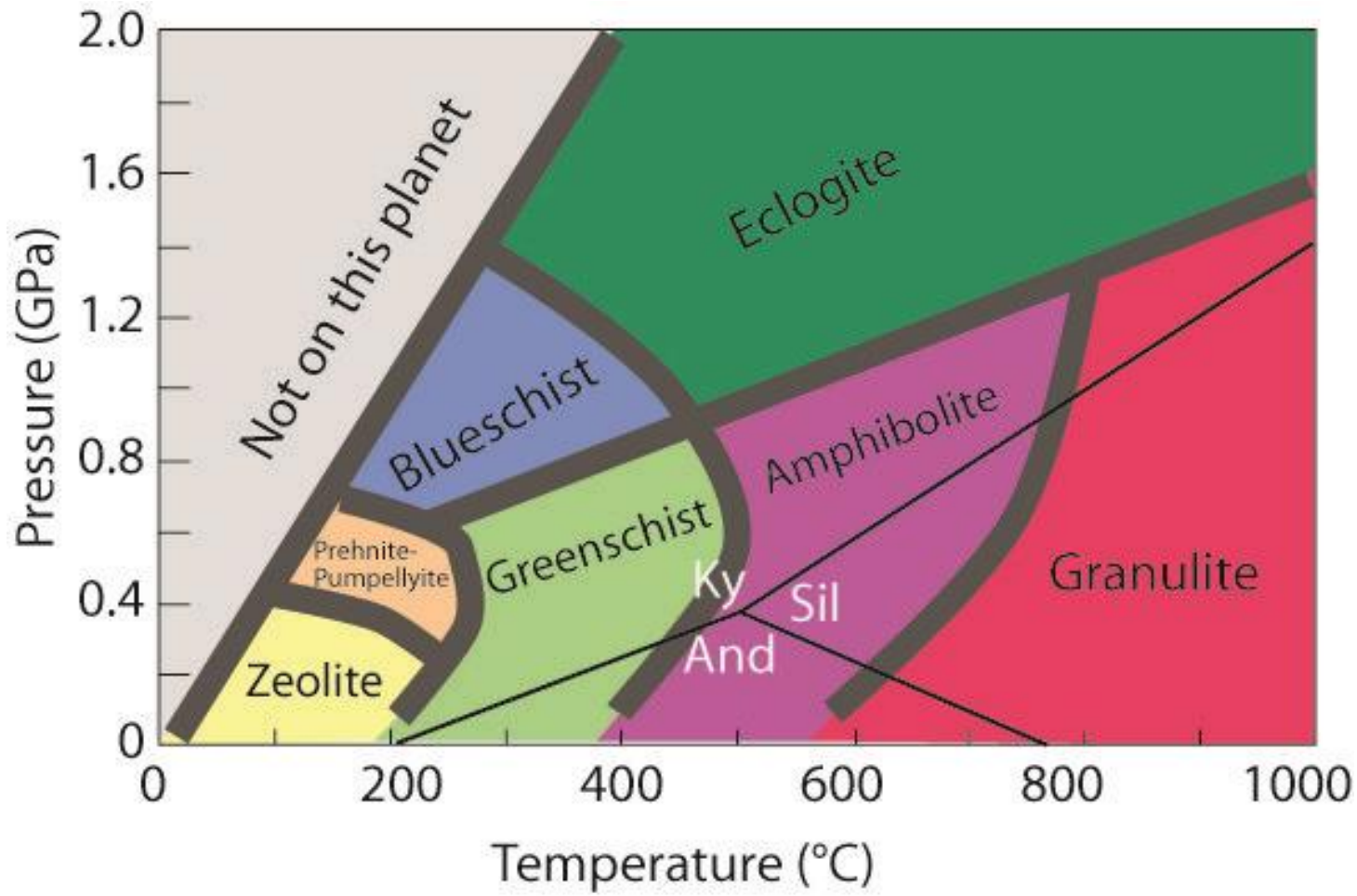
Observação: Todo poliedro regular é um poliedro de Platão, mas **nem todo poliedro de Platão é um poliedro regular**.

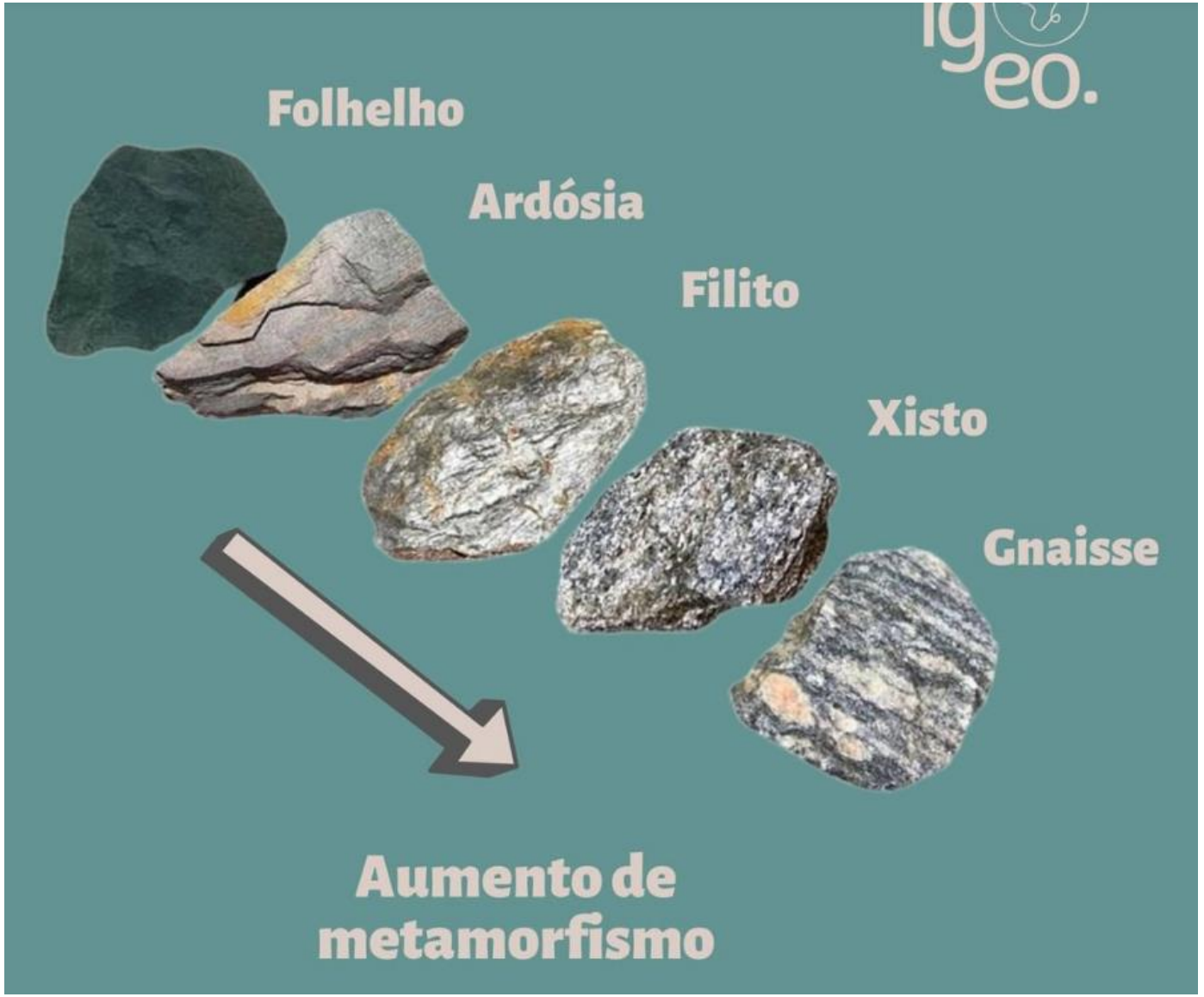
Relação dos raios mínimos $r_A : r_B$	*Número de coordenação* **N.C.**	*Geometria do empacotamento*	
<0,155	2	Linear	
0,155	3	Vértices de um triângulo equilátero (coordenação triangular)	
0,225	4	Vértices de um tetraedro (coordenação tetraédrica)	
0,414	6	Vértices de um octaedro (coordenação octaédrica)	
0,732	8	Vértices de um cubo (coordenação cúbica)	
1.0	12	Vértices de um cuboctaedro (empacotamento fechado)	


Olivina
Piroxena
Anfíbola
Biotite
Feldspato potássico
Moscovite
Quartzo
Série descontínua dos minerais ferromagnesianos
Anortite
(Cálcio)
Albite
(Sódio)
Série contínua das plagioclases
Cristalização a
alta temperatura
(primeiro a cristalizar)
Cristalização a
baixa temperatura
(último a cristalizar)



Estabilidade mineral ao intemperismo em relação à Sequência de Goldich (inverso da série de minerais de Bowen) formada pela cristalização do magma básico. Fonte: Chesworth e Evans (2008).


2.0
1.6
1.2
0.8
0.4
0
Pressure (GPa)
0
200
400
600
800
1000
Temperature (°C)
Not on this planet
Eclogite
Blueschist
Amphibolite
Greenschist
Prehnite-
Pumpellyite
Zeolite
Ky
Sil
And
Granulite


Folhelho
Ardósia
Filito
Xisto
Gnaisse
Aumento de metamorfismo

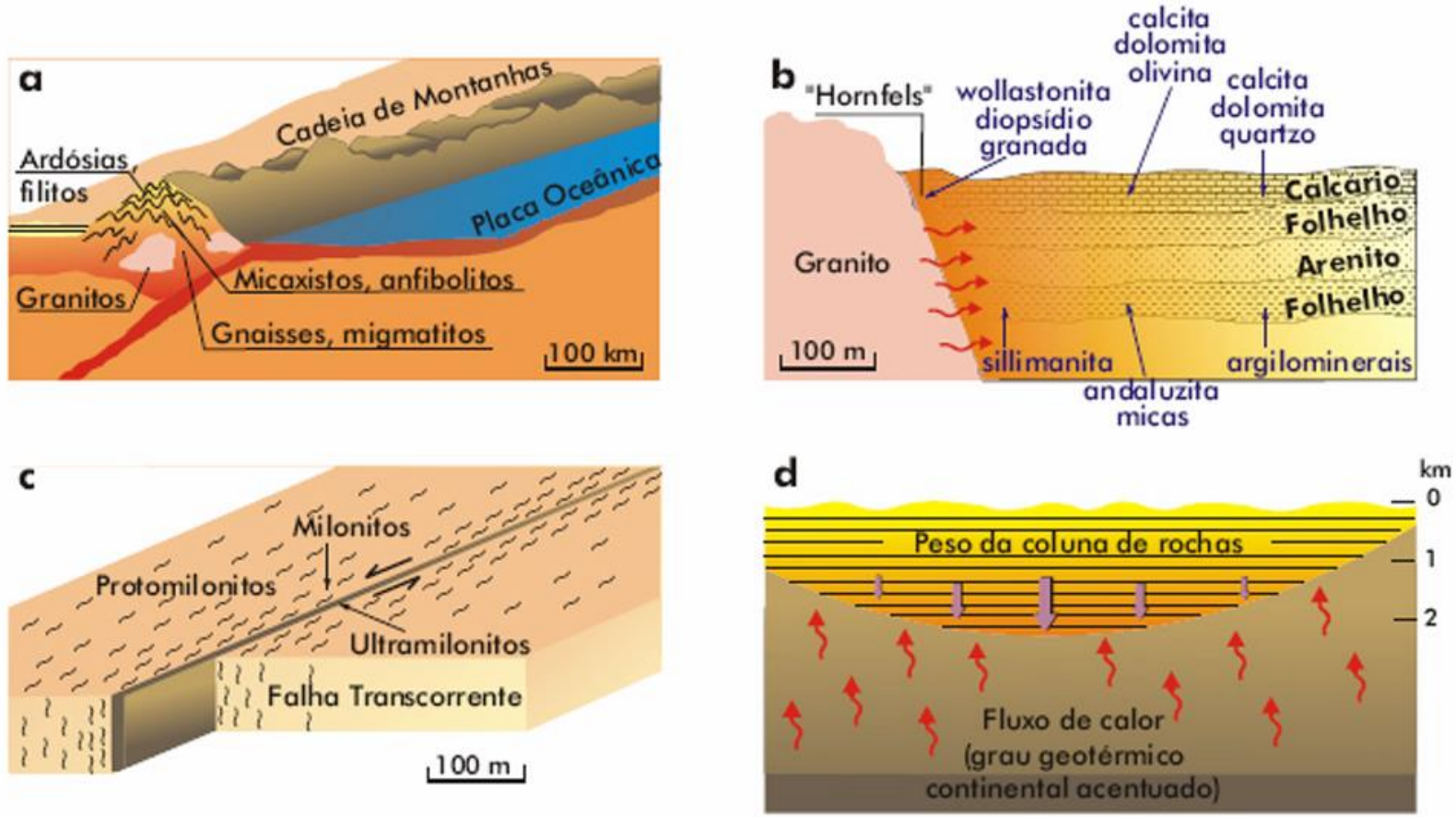
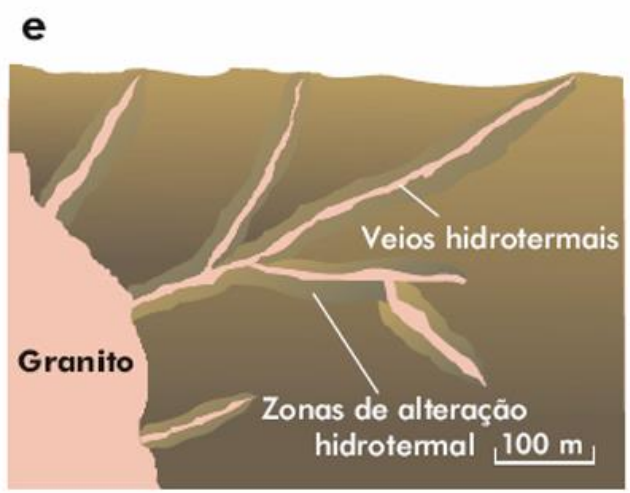
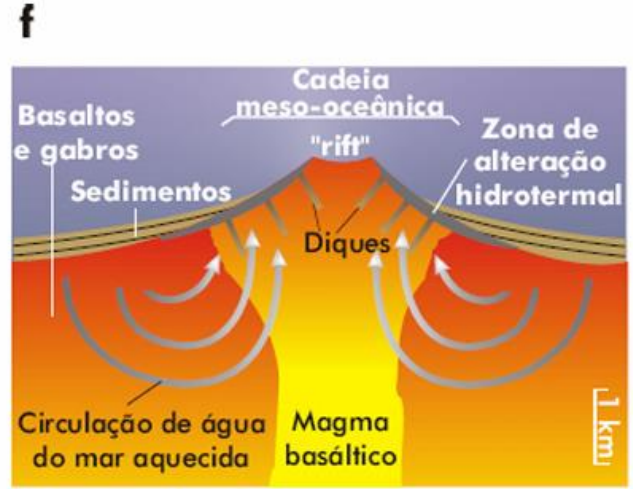


Fig. 18.10 Representação esquemática dos diferentes tipos de metamorfismo: a) Metamorfismo regional ou dinamotermal; b) Metamorfismo de contato ou termal; c) Metamorfismo dinâmico ou cataclástico; d) Metamorfismo de soterramento.





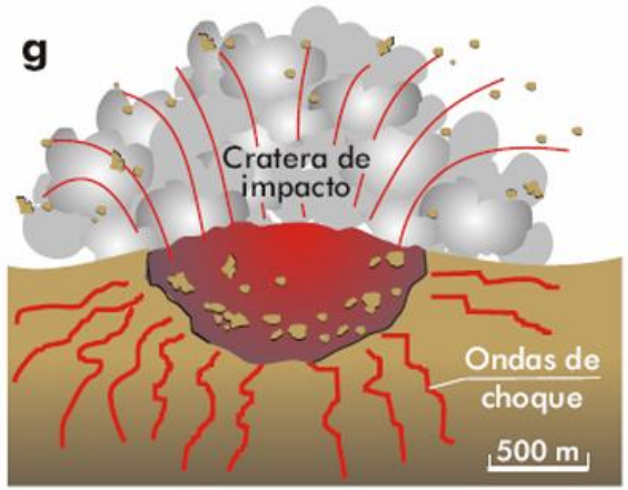


Fig. 18.10 (continuação)
e) Metamorfismo hidrotermal;
f) Metamorfismo de fundo oceânico;
g) Metamorfismo de impacto.

Referencias:

- AJOUR. *What is Mohs scale of mineral hardness?* Disponível em: https://ajour.jp/column/what-is-mohs-scale-of-mineral-hardness/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Assignment Point. *Knorringite properties and occurrences*. Disponível em: https://assignmentpoint.com/knorringite-properties-and-occurrences/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- CRISTAIS DE CURVELO. *Uvarovita – learn more about this mineral*. Disponível em: https://www.cristaisdecurvelo.com.br/uvarovita-learn-more-about-this-mineral/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Didática.Tech. *De onde vem o número de Euler?* Disponível em: https://didatica.tech/de-onde-vem-o-numero-de-euler/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- DIDÁTICO IGC-USP. *Nesossilicatos*. Disponível em: https://didatico.igc.usp.br/minerais/silicatos/nesossilicatos/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- EN WIKIPEDIA. *Demantoid*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Demantoid. Acesso em: 24 dez. 2025.
- EN WIKIPEDIA. *Majorite*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Majorite#:~:text=Majorita&text=Majorita%20%C3%A9%20um%20mineral%20encontrado,no%20sudoeste%20do%20Oceano%20Pac%C3%ADfico. Acesso em: 24 dez. 2025.
- EN WIKIPEDIA. *Tsavorite*. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Tsavorite#:~:text=Tsavorite%20or%20tsavolite%20is%20a,chromium%20provide%20the%20green%20color. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Escola Educação. *Cubo*. Disponível em: https://escolaeducacao.com.br/cubo/#google_vignette. Acesso em: 24 dez. 2025.
- FÍSICA UFPR. *Introdução*. Disponível em: https://fisica.ufpr.br/kleber/introducao.pdf. Acesso em: 24 dez. 2025.

- GELOGY IN THE WAY. *Geology is the way*. Disponível em: https://geologyistheway.com/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Geologyscience. *Gemstone blog – Types of garnet and their differentiation*. Disponível em: https://geologyscience.com/pt/gemstone-blog/types-of-garnet-and-their-differentiation/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Geologyscience. *Hessonite*. Disponível em: https://geologyscience.com/pt/gemstone/hessonite/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Geologyscience. *Melanite*. Disponível em: https://geologyscience.com/es/gemstone/melanite/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Geologyscience. *Rhodolite*. Disponível em: https://geologyscience.com/pt/gemstone/rhodolite/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Geologyscience. *Topazolite*. Disponível em: https://geologyscience.com/gemstone/topazolite/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- GeologyIn. *Garnet group – colors and varieties of garnet*. Disponível em: https://www.geologyin.com/2018/03/garnet-group-colors-and-varieties-of.html. Acesso em: 24 dez. 2025.
- GeoTurismo Brasil. *Rochas metamórficas: como se formam, tipos e processos de metamorfismo*. Disponível em: http://www.geoturismobrasil.com/Material%20didatico/Rochas%20metamórficas.pdf. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Mineral Auctions. *Goldmanite – rare garnet species*. Disponível em: https://www.mineralauctions.com/items/goldmanite-rare-garnet-species-32854. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Note.com. *Creator Teru – Mohs scale*. Disponível em: https://note.com/creator_teru/n/nc964a6e92895. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Pinterest. *Garnet image*. Disponível em: https://co.pinterest.com/pin/718113103053055686/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Project Obame. *Escalas de Mohs e Kobbell no museu*. Disponível em: https://projectobame.blogspot.com/2013/10/escalas-de-mohs-e-kobbell-no-museu.html. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Rock Identifier. *Garnet*. Disponível em: https://rockidentifier.com/pt/wiki/Garnet.html. Acesso em: 24 dez. 2025.
- SabeRMatematica. *Dodecaedro*. Disponível em: https://sabermatematica.com.br/dodecaedro.html. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Toda Matéria. *Tabela periódica*. Disponível em: https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica/. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Vecteezy. *Dodecaedro rômbico – ilustração vintage*. Disponível em: https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/13510944-dodecaedro-rombico-ilustracao-vintage. Acesso em: 24 dez. 2025.
- Klein, C. *Manual de Mineralogia* (23ª ed.). Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- Nesse, W.D. *Introduction to Mineralogy* (3rd ed.). Oxford: Oxford University Press, 2012.